

ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРО МОМЕНТ ЛОГІЧНОГО ЗАВЕРШЕННЯ РЕЙСУ ДОЛОТА PDC

Л.Я. Чигур, Ю.Б. Долішня

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 46067;
e-mail: kafatp@ukr.net

Розглядається задача прийняття рішень щодо визначення моменту логічного завершення рейсу доліт нового покоління типу PDC на основі техніко-економічного критерію.

Ключові слова: трендовий аналіз, оптимальний поріг, долота нового покоління PDC, математичні моделі, механічна швидкість проходки

Рассматривается задача принятия решений по определению момента логического завершения рейса долот нового поколения типа PDC на основе технико-экономического критерия.

Ключевые слова: трендовый анализ, оптимальный порог, долота нового поколения PDC, математические модели, механическая скорость проходки.

We consider the problem of decision-making with respect to determining when the logical conclusion of a new generation of flight bits such as PDC, based on techno-economic criteria.

Keywords: trend analysis, the optimal threshold, the bit next-generation PDC, mathematical models, PDC.

Діагностування технічного стану полікристалічних бурових доліт типу PDC є актуальною науковою і практичною задачею у зв'язку з інтенсивним впровадженням доліт цього типу в практику буріння.

Проте, аналіз літературних джерел (наприклад, [1-4 та ін.]) свідчить про недостатній об'єм проведених досліджень в контексті використання формальних критеріїв виявлення факту і моменту часу зміни властивостей долота, що проявляється у вигляді «розкладки», тобто виходу за встановлені границі одного, або декількох параметрів, які використовуються для оцінювання тренду в інтересах допускового контролю.

Тому метою даної статті є вирішення завдання технічного діагностування долота типу PDC із застосуванням апарату математичної статистики, а саме методів трендового аналізу.

Об'єктом дослідження є процес відпрацювання бурового долота типу PDC, а предметом дослідження – спосіб діагностування технічного стану долота на базі інформації про механічну швидкість проходки.

Припустимо, що процес буріння описується функціональною залежністю [2]:

$$v_m = f\left(F, n, Q, D, p_{\text{ш}}, \frac{ES}{L}\right), \quad (1)$$

де: v_m – механічна швидкість проходки;

F – осьова сила на долото;

n – швидкість обертання долота;

Q – об'ємна витрата промивальної рідини;

D – діаметр долота;

$p_{\text{ш}}$ – твердість гірської породи;

E – модуль пружності матеріалу труб;

S – площа поперечного перерізу колони бурових труб,

L – глибина буріння.

Шукана функціональна залежність одержана [2] з допомогою \bar{n} -теореми теорії подібності у критеріальному вигляді:

$$\frac{v_m}{n} = f\left(\frac{F}{p_{\text{ш}} D^2}, \frac{Q}{n D^3}, \frac{ES}{LD p_{\text{ш}}}\right). \quad (2)$$

Проте, найбільш повною є залежність, побудована на базі результатів численних промислових досліджень про вплив різних чинників на механічну швидкість проходки і представлена [2] в мультиплікативній формі:

$$\frac{v_m}{nD} = k \left(\frac{F}{p_{\text{ш}} D^2}\right)^{\alpha} \left(\frac{Q}{n D^3}\right)^{\beta} \left(\frac{ES}{LD p_{\text{ш}}}\right)^{\gamma}, \quad (3)$$

де k, α, β, γ – емпіричні коефіцієнти, які підлягають ідентифікації за результатами промислових досліджень.

Аналіз цієї залежності вказує на її узгодженість в якісному плані з відомими формулами вітчизняних і зарубіжних вчених [2, 3, 4].

Поточне значення механічної швидкості проходки залежить від часу внаслідок зношування оснащення долота. В роботі [5] на основі експериментальних досліджень і результатів обробки матеріалів, отриманих іншими дослідниками, встановлено, що залежність $v_m(t)$ має такий вигляд

$$v_m(t) = v_0 \left(1 + K(n-1)v_0^{n-1}t\right)^{\frac{1}{n-1}}, \quad (4)$$

де v_0 – початкова механічна швидкість проходки незатупленим долотом,

$$v_0 = a_0 + 2a_1F + 2a_2n + 2a_3Fn + a_4F^2 + a_5n^2,$$

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ – коефіцієнти полінома,

K – постійне число, яке використовується в математичній моделі (4) як коефіцієнт зношування;

n – показник степеня, $n \in [0, 4]$.

Рівнянню (4) відповідає залежність поточних значень проходки

$$h(t) = v_0^{-(n-2)} \left[\left(1 + K(n-1)v_0^{n-1} \cdot t \right)^{-\frac{n-2}{n-1}} \times \right. \\ \left. \times (K(n-2))^{-1} \right]. \quad (6)$$

Формули (4), (5), (6) є математичною моделлю процесу буріння, яка може слугувати основою для оптимізації певного показника ефективності процесу.

Проте для оптимізації відпрацювання доліт типу PDC краще скористатися узагальненою математичною моделлю процесу буріння [6]

$$\frac{dh}{dt} = \frac{v_0}{\varphi^r}; \quad \frac{d\varphi}{dt} = K_\varphi \cdot \varphi^s; \quad \frac{dg}{dt} = K_g \quad (7)$$

з початковими умовами

$$h(0) = 0, \quad \varphi(0) = 1, \quad g(0) = 0, \quad (8)$$

де: $\varphi = \frac{v_0}{v_t}$ – узагальнена оцінка стану оснащення долота;

r і s – деякі постійні величини, які приймають значення із множини $\{-1; 0; 0.5; 1\}$;

K_φ – інтенсивність зношування долота (параметри K_R, K_v, K_ε або K_g);

g – оцінка стану опор долота;

K_g – швидкість зміни оцінки стану опор долота.

Перевагою узагальненої моделі є те, що вона охоплює цілий клас моделей, які адекватні умовам буріння нафтових і газових свердловин. Крім того, змінні стану піддаються спостереженню безпосередньо в процесі буріння.

Враховуючи, що долота типу PDC є безопорними і їх оснащення практично не зношується, для буріння в ізотропних породах з постійними керувальними діями $F = const, n = const$ модель (7) можна спростити до такого вигляду

$$v_m = \frac{dh}{dt} = v_0; \quad \frac{d\varphi}{dt} = 0 \quad (9)$$

з початковими умовами

$$h(0) = 0; \quad \varphi(0) = 1. \quad (10)$$

Тоді узагальнена оцінка стану оснащення долота типу PDC

$$\varphi = \frac{v_0}{v_t} = 1 \quad (11)$$

зберігає своє значення протягом усього основного періоду роботи долота.

Проте, на завершальному етапі роботи долота PDC спостерігається інтенсивне зношування оснащення і зменшення механічної швидкості проходки $v_m(t)$ за одним із законів, яким описується рівнянням (4), що спостерігається у вигляді порушення однорідності часових рядів, тобто «розкладки».

Виявлення факту і моменту часу зміни статистичних характеристик результатів реєстрації

контрольованих параметрів процесу буріння є предметом трендового аналізу [8].

Задачі трендового аналізу розв'язуються на базі таких методів математичної статистики:

– оцінки випадковості різниці між заданим математичним сподіванням і вибірковою середнім в послідовностях даних контрольованих параметрів;

– оцінки належності вибірок контрольованих параметрів до однієї генеральної сукупності;

– виявлення закономірностей в послідовностях контрольованих параметрів.

Якщо задачі першої групи охоплюють параметричні методи і є традиційними в прикладній статистиці [8], а задачі другої групи, як правило, розв'язуються за допомогою непараметричних методів оцінювання з використанням рангових статистик [9], то задачі третьої групи є класичними задачами про «розкладку» [3], для розв'язання яких використовується як параметричні, так і непараметричні методи.

В трендовому аналізі реалізується двохальтернативна задача статистичного розрізнення гіпотез, коли використовується або критерій Неймана-Пірсона, або критерій оптимального спостерігача [8]. При аналізі технічного стану долота можуть бути використані типові критерії виявлення трендів [10]: критерій Хальда-Аббе, модифікований Z-критерій, інтегральний S-критерій, модифікований S-критерій, інтегральний критерій приростів та ін.

При цьому важливого значення набуває обґрунтоване визначення порогу прийняття рішення, з яким порівнюється вирішальна статистика. У допусковому контролі такий поріг призначається, виходячи із досвіду експлуатації заданого типу долота, а при розв'язанні задачі виявлення «розкладки» – на базі апріорно заданої ймовірності хибних рішень.

Оптимальне призначення порогу, в свою чергу, вимагає використання статистичних даних про відпрацювання доліт.

Для вибору порогу, тобто моменту логічного завершення рейсу долота PDC і оптимальної кратності механічних швидкостей m , скористаємося рівнянням, яке зв'язує собівартість 1 м проходки свердловини q з параметрами режиму буріння [3,4]:

$$q = \frac{\left[(m-1) + K_t v_0 \left(t_{СП} + \frac{B_\partial}{B_\Gamma} \right) \right] B_\Gamma}{v_0 \ln m}, \quad (12)$$

де: m – кратність механічних швидкостей, яка дорівнює співвідношенню початкової v_0 і кінцевої v_k швидкостей буріння протягом одного рейсу долота, $m = v_0 / v_k$;

$t_{СП}$ – час, що витрачається на спуско-підіймальні і допоміжні операції, віднесений на один метр проходки;

B_∂ – вартість долота;

B_Γ – вартість однієї години роботи бурової установки без вартості долота;

K_i – оцінка інтенсивності зношування оснащення долота.

Оскільки, для алмазних доліт типу PDC $K_i = 0$, тоді

$$q = \frac{[(m-1)+0]B_\Gamma}{v_0 \ln m}, \text{ або} \\ qv_0 \ln m = (m-1)B_\Gamma. \quad (13)$$

Для спрощення рівняння (2) скористаємося розкладанням $\ln m$ в ряд Маклорена для області збіжності $m > \frac{1}{2}$:

$$\ln m = (m-1) - \frac{(m-1)^2}{2} + \frac{(m-1)^3}{3} - \frac{(m-1)^4}{4} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{(m-1)^n}{n} + \dots \quad (14)$$

Скористаємось першими двома членами ряду і тоді представимо рівняння (13) у такому вигляді:

$$qv_0 \left[(m-1) - \frac{(m-1)^2}{2} \right] = B_\Gamma (m-1). \quad (15)$$

Після перетворень отримаємо

$$qv_0 m = 3qv_0 - 2B_\Gamma. \quad (16)$$

Із (16) маємо

$$m = \frac{3qv_0 - 2B_\Gamma}{qv_0}, \text{ або} \\ m = 3 - \frac{2B_\Gamma}{qv_0}. \quad (17)$$

Оскільки $2B_\Gamma \ll qv_0$, то $\frac{2B_\Gamma}{qv_0} < 1$, тобто $2 < m < 3$.

Оскільки, як показник зношування долота PDC прийняли узагальнену оцінку стану оснащення долота $\varphi(t) = \frac{v_0}{v_t}$, то врахуємо, що фун-

кція $\varphi(t)$ має таку властивість, що до початку завершального періоду роботи долота її математичне сподівання дорівнює одиниці, а після початку катастрофічного зношування – всередньому монотонно зростає в часі. Для визначення моменту підйому долота для заміни застосована процедура порівняння на кожному кроці обчислення значення $\varphi(t)$ з деяким порогом Δ , який відповідає кратності зменшення механічної швидкості $m = 2,5$. Оскільки, значення випадкової величини $\varphi(t)$ до початку катастрофічного зношування оснащення долота PDC розподілені нормально, то ймовірності 0,98 відповідає значення ширини порогу $m = 2,5$. Аналогічні результати отримані для випадку, коли за показник зношування долота прийняли

механічну ефективність долота $\lambda(t) = \frac{v_t}{v_0}$.

Висновок

На основі проведеного аналізу законів зміни механічної швидкості проходки обґрунтовано вибір ширини порогу прийняття рішення про момент логічного завершення рейсу долота PDC, з яким порівнюється математичне сподівання механічної швидкості проходки, що спостерігається протягом основного періоду роботи долота.

Література

- 1 Драганчук О.Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу / О.Т. Драганчук, Т.О. Пригоровська // Нафтогазова енергетика. – 2008. – №4. – С. 11–15.
- 2 Мислюк М.А. Моделювання явищ і процесів у нафтогазопромисловій справі [навчальний посібник] / М.А.Мислюк, Ю.О.Зарубін. – Івано-Франківськ: Екор, 1999. – 496 с.
- 3 Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин: навчальний посібник / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенов. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.
- 4 Семенов Г.Н. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій і газовій промисловості: навчальний посібник / Г.Н. Семенов, Я.Р. Когуч, Я.В. Куровець, М.М. Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с.
- 5 Ситников Н.Б. Моделирование и оптимизация процесса бурения геологоразведочных скважин: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность) / Н.Б. Ситников – Екатеринбург, 2000. – 41 с.
- 6 Кропивницька В.Б. Оптимальне керування процесом буріння нафтових і газових свердловин з дискретно-неперервною зміною керувальних дій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 0513.07 – Автоматизація технологічних процесів / Кропивницька Віталія Богданівна. – Івано-Франківськ, 2007. – 20 с.
- 7 Жигалевський А.А. Обнаружение разкладки случайных процессов в задачах радиотехники / А.А. Жигалевский, А.Е. Красковский. – Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1988. – 224 с.
- 8 Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 422 с.
- 9 Хетманспергер Т. Статистические выводы, основанные на рангах / Т. Хетманспергер. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 334 с.
- 10 Епифанов С.В. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, В.Л. Кузнецов, И.Н. Богаенко и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
02.12.10

Рекомендована до друку професором
Г.Н. Семеновим